

Створення методів проектування процесів формоутворення конструкцій машинобудування при в'язкопластичному деформуванні гомогенних, евтектичнозмцнених та порошкових матеріалів

Создание методов проектирования процессов формообразования конструкций машиностроения при вязкопластичной деформации гомогенных, евтектически упрочняемых и порошковых материалов

Creation of methods for designing the processes of shaping engineering structures under viscoplastic deformation of homogeneous, eutectic strengthened and powder materials

1. Номер державної реєстрації теми - 0116U003687

2. Науковий керівник – д.т.н., проф. Тітов В.А., Титов В.А., Titov Vyacheslav A.

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

В роботі з використанням єдиного теоретичного підходу виконано аналіз процесів в'язкопластичного формоутворення типових конструкцій машинобудування з гомогенних та структурно-неоднорідних матеріалів. В основу теоретичного підходу покладено замкнуту систему рівнянь теорії пластичної течії механіки суцільного середовища з урахуванням в'язкопластичних властивостей матеріалів. Цей підхід дозволив забезпечити системне проектування процесів формоутворення конструкцій. Для його реалізації розроблений метод визначення моделі в'язкопластичного деформування матеріалів при випробуваннях на згин.

На основі експериментальних даних доведена ефективність деформування дрібнозернистих металів. Основною науковою ідеєю при реалізації теоретичного підходу є приведення структурно-неоднорідних (евтектичнозмцнених та порошкових) матеріалів до виду квазігомогенних розподілених дрібнозернистих структур технологічними методами. Керування структурою реалізовано методом гвинтового уширяючого пресування за рахунок великих деформацій зсуву в об'ємі заготовки матеріалу. Заключне формоутворення конструкцій машинобудування виконується з використанням умов в'язкопластичного деформування.

Визначені закономірності формоутворення тонкостінних елементів постійної товщини та клиноподібної форми при в'язкопластичному деформуванні алюмінієвих сплавів АМг5, Д16, В93. Встановлено, що при постійній температурі ізотермічного пресування та постійній величині навантаження, висота тонкостінного елемента збільшується пропорційно часу витримки. Суттєвим є зменшення зусилля при зменшенні швидкості деформування.

Експериментально показано, що формоутворення тонкостінних елементів в твердорідному стані зменшує енергосилові параметри процесу формоутворення. В роботі запропоновані режими обробки для деформуємих алюмінієвих сплавів Д16 та В93 з попередньо підготовленою глобулярною структурою.

Для типових представників моноколів з радіальним і співвісним розташуванням лопаток визначені енергосилові параметри процесу і напружено-деформований стан в осередку деформації, що дозволило оптимізувати умови формоутворення. При дослідженні використано комплексний підхід співставлення аналітичних і чисельних розрахунків, а також експериментальних даних. Показано, що при проектуванні процесів необхідно враховувати використання ресурсу пластичності в небезпечних зонах осередку деформації. При цьому зменшення коефіцієнту використання ресурсу пластичності доцільно досягати керуванням швидкості деформацій та формою вихідної заготовки. Встановлено, що зі зменшенням швидкості деформування можна значно знизити технологічне зусилля процесу, а заповнення тонкостінних елементів відбувається більш стійко. Для реалізації процесів виготовлення деталей ГТД спільно з АТ «Мотор Січ» спроектована та виготовлена установка для ізотермічного штампування та штампове оснащення.

Виконано дослідження комплексного двухстадійого технологічного процесу пресування заготовок лопаток компресора ГТД. Використання на попередніх операціях гвинтового уширяючого пресування забезпечило дрібнодисперсну структуру евтектичнозмцненого

титанового сплаву Ti-TiB₂ з рівномірно розподіленою фазою евтектики. Формування заготовки лопатки, що виконано на другій стадії, забезпечило підвищення механічних властивостей на 16...20%.

Розроблено структурний технологічний процес виготовлення фрагменту порожнистої лопатки з листових титанових сплавів ВТ6 та ОТ4-1. Відпрацьовані основні операції процесу – дифузійне зварювання заготовки під тиском, а також формування фрагменту лопатки в умовах над пластичності. Визначені режими обробки та розроблені технічні рекомендації по реалізації процесу. Розроблена конструкторська документація та виготовлено спільно з ДП ЗМКБ «Прогрес» ім. О.Г. Івченко оснащення для реалізації процесу.

З застосуванням теоретичного підходу запропонована та експериментально обґрунтована фізико-механічна модель взаємодії поверхонь деталі та інструменту з проміжним шаром металевої компоненти змащення. Виникнення великих деформацій зсуву в проміжному шарі металевих компонентів забезпечує зменшення коефіцієнту тертя та захист від адгезійної взаємодії поверхонь інструменту та деталі. Врахування вязкопластичної моделі деформування металевих компонентів дозволило визначити при вигладжуванні коефіцієнт тертя, а також граничну величину коефіцієнта тертя, що забезпечує стійкість інструменту при обробці титанових сплавів.

Результати роботи пройшли апробацію на підприємствах АТ «Мотор Січ» та ДП ЗМКБ «Прогрес» ім. О.Г. Івченко.

(рос.)

В работе с использованием единого теоретического подхода выполнен анализ процессов вязкопластического формообразования типовых конструкций машиностроения из однородных и структурно-неоднородных материалов. В основу теоретического подхода положена замкнутая система уравнений теории пластического течения механики сплошной среды с учетом вязкопластических свойств. Этот подход позволил обеспечить системное проектирование процессов формообразования конструкций. Для его реализации разработан метод определения модели вязкопластического деформирования материалов при испытаниях на изгиб.

На основе экспериментальных данных доказана эффективность деформирования мелкозернистых металлов. Основной научной идеей при реализации теоретического подхода является приведение структурно-неоднородных (евтектически упрочненных и порошковых) материалов к виду квазигомогенных распределенных мелкозернистых структур технологическими методами. Управление структурой реализовано методом винтового уширяющего прессования за счет больших деформаций сдвига в объеме заготовки материала. Заключительное формообразование конструкций машиностроения выполняется с использованием условий вязкопластического деформирования.

Определены закономерности формообразования тонкостенных элементов постоянной толщины и клиновидной формы при вязкопластичной деформации алюминиевых сплавов АМг5, Д16, В93. Установлено, что при постоянной температуре изотермического прессования и постоянной величине нагрузки, высота тонкостенного элемента увеличивается пропорционально времени выдержки. Существенным является уменьшение усилия при уменьшении скорости деформирования.

Экспериментально показано, что формообразование тонкостенных элементов в твердожидком состоянии уменьшает энергосиловые параметры процесса формообразования. В работе предложены режимы обработки для деформируемых алюминиевых сплавов Д16 и В93 с предварительно подготовленной глобулярной структурой.

Для типичных представителей моноколеса с радиальным и соосным расположением лопаток определены энергосиловые параметры процесса и напряженно-деформированное состояние в очаге деформации, что позволило оптимизировать условия формообразования. При исследовании использован комплексный подход сопоставления аналитических и численных расчетов, а также экспериментальных данных. Показано, что при проектировании процессов необходимо учитывать использование ресурса пластичности в опасных зонах очага деформации. При этом уменьшение коэффициента использования ресурса пластичности целесообразно достигать управлением скорости деформаций и формой исходной заготовки. Установлено, что с уменьшением скорости деформирования можно значительно снизить

технологическое усиления процесса, а заполнение тонкостенных элементов происходит более устойчиво. Для реализации процессов изготовления деталей ГТД совместно с АО «Мотор Сич» спроектирована и изготовлена установка для изотермической штамповки и штамповой оснастки.

Выполнены исследования комплексного двухстадийного технологического процесса прессования заготовок лопаток компрессора ГТД. Использование на предыдущих операциях винтового уширяющего прессования обеспечило мелкодисперсную структуру эвтектически упрочненного титанового сплава Ti-TiB₂ с равномерно распределенной фазой эвтектики. Формообразование заготовки лопатки, которое выполнено на второй стадии, обеспечило повышение механических свойств на 16 ... 20%.

Разработан структурный технологический процесс изготовления фрагмента полой лопатки из листовых титановых сплавов BT6 и OT4-1. Отработаны основные операции процесса - диффузная сварка заготовки под давлением, а также формообразование фрагмента лопатки в условиях сверхпластичности. Определены режимы обработки и разработаны технические рекомендации по реализации процесса. Разработана конструкторская документация и изготовлен совместно с ГП ЗМКБ «Прогресс» им. О.Г. Ивченко оснастка для реализации процесса.

С применением теоретического подхода предложена и экспериментально обоснована физико-механическая модель взаимодействия поверхностей детали и инструмента с промежуточным слоем металлической компоненты смазки. Возникновение крупных деформаций сдвига в промежуточном слое металлического компонента обеспечивает уменьшение коэффициента трения и защиту от адгезионного взаимодействия поверхностей инструмента и детали. Учет вязкопластичной модели деформирования металлического компонента позволило определить при выглаживании коэффициент трения, а также предельную величину коэффициента трения, что обеспечивает устойчивость инструмента при обработке титановых сплавов.

Результаты работы прошли апробацию на предприятиях АО «Мотор Сич» и ГП ЗМКБ «Прогресс» им. О.Г. Ивченко.

(англ.)

In this work, using a unified theoretical approach, the analysis of the processes of visco-plastic forming of typical mechanical engineering structures with homogeneous and structurally heterogeneous materials. The theoretical approach is based on a closed system of equations of the theory of plastic flow of continuum mechanics, taking into account the visco-plastic properties of materials. This approach made it possible to provide system design of structural forming processes. For its implementation, a method for determining the model of visco-plastic deformation of materials during bending tests is developed.

On the basis of experimental data the efficiency of deformation of fine-grained metals is proved. The main scientific idea in the implementation of the theoretical approach is to bring structurally heterogeneous (eutectic and powder) materials to the form of quasi-homogeneous distributed fine-grained structures by technological methods. The control of the structure is realized by the method of screw expanding pressing due to large shear deformations in the volume of the workpiece material. The final shaping of mechanical engineering structures is performed using the conditions of visco-plastic deformation.

The regularities of the formation of thin-walled elements of constant thickness and wedge-shaped visco-plastic deformation of aluminum alloys AMg5, D16, V93. It was found that at a constant temperature of isothermal pressing and a constant value of the load, the height of the thin-walled element increases in proportion to the holding time. It is essential to reduce the force while reducing the deformation rate.

It is shown experimentally that the formation of thin-walled elements in the solid state reduces the energy-power parameters of the forming process. The paper proposes processing modes for deformable aluminum alloys D16 and V95 with a pre-prepared globular structure.

For typical representatives of monocycles with radial and coaxial arrangement of blades, the energy-power parameters of the process and the stress-strain state in the deformation zone were determined, which made it possible to optimize the forming conditions. The study used an integrated approach to

the comparison of analytical and numerical calculations, as well as experimental data. It is shown that when designing processes it is necessary to take into account the use of plasticity resource in hazardous areas of deformation. At the same time, reducing the coefficient of use of the plasticity resource is advisable to achieve the control of the deformation rate and the shape of the original billet. It is found that with a decrease in the rate of deformation can significantly reduce the technological effort of the process, and the filling of thin-walled elements is more stable. To implement the processes of manufacturing GTE parts together with JSC "Motor Sich" designed and manufactured installation for isothermal stamping and die tooling.

Research of complex two-stage technological process of pressing of blanks of compressor blades of GTE is executed. Using the previous operations broadening pressing screw provided fine structure titanium alloy Ti-TiB₂ with uniformly distributed eutectic phase. Shaping billets the blades are made in the second stage, has allowed the improvement of the mechanical properties 16...20%.

The structural technological process of manufacturing a fragment of a hollow blade from sheet titanium alloys VT6 and OT4-1 is developed. The basic operations of the process – diffusion welding of the workpiece under pressure, as well as the formation of the blade fragment under conditions of plasticity are worked out. Determine the modes of processing and developed technical recommendations for the implementation process. Developed the design documentation and manufactured together with machine-building design bureau progress state enterprise named after academician A.G. Ivchenko equipment for the implementation of the process.

Using the theoretical approach, a physical-mechanical model of interaction between the surfaces of the part and the tool with the intermediate layer of the metal component of the lubricant is proposed and experimentally substantiated. The occurrence of large shear strains in the intermediate layer of the metal component provides a reduction in the coefficient of friction and protection from the adhesive interaction of the surfaces of the tool and the part. Taking into account the visco-plastic model of deformation of the metal component, it was possible to determine the coefficient of friction at the burnishing, as well as the limit value of the coefficient of friction, which ensures the stability of the tool in the processing of titanium alloys.

The results were tested at the enterprises of JSC "Motor Sich" and machine-building design bureau Progress state enterprise named after academician A.G. Ivchenko.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

- Патент на корисну модель № 120647 Україна, МПК В24В 39/06 (2006.01). Пристрій для місцевого зміцнення деталей/ Тітов В.А., Наку Д.В., Вишневський П.С.; Борис Р.С.(Україна) КПП ім. Ігоря Сікорського. – № у 2017 05418 Опубл. 10.11.2017, Бюл. №21.
- Патент на корисну модель № 116531 Україна, МПК В21J 1/02 (2006.01). Спосіб пресування виробів / Тітов В.А., Вишневський П.С., Івахов А.А., Тітов А.В. (Україна) КПП ім. Ігоря Сікорського. – № у201612310 Опубл. 25.05.2017, Бюл. №10.
- Патент на корисну модель № 117219 Україна, МПК В21J 1/02 (2006.01). Спосіб зміцнення заготовок пластичним деформуванням / Тітов В.А., Івахов А.А., Вишневський П.С., Тітов А.В., Кондратюк Е.В. (Україна) КПП ім. Ігоря Сікорського. – № у201612309 Опубл. 26.06.2017, Бюл. №12.
- Патент на корисну модель № 112492 Україна, МПК В21D 22/08 (2006.01). Штамп для глибокої витяжки деталей циліндричної форми / Холявік О.В., Борис Р.С., Стеблюк В.І., Тривайло М.С., Дудка С.Ю. (Україна) НТУУ «КПІ». – № у 2016 03288 Опубл. 26.12.2016, Бюл. №24.
- Патент на корисну модель № 110980 Україна, МПК В21J 5/00 (2006.01). Спосіб пресування виробів / Тітов В.А., Вишневський П.С., Івахов А.А., Кондратюк Е.В., Тітов А.В. (Україна) КПП ім. Ігоря Сікорського. – № у201604349 Опубл. 25.10.2016, Бюл. №20.
- Патент на корисну модель № 126187 Україна. СПОСІБ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК КРУЧЕННЯМ / Тітов В.А., Івахов А.А., Вишневський П.С., Тітов А.В., Кондратюк Е.В. (Україна) КПП ім. Ігоря Сікорського. – № у 2018 12310 Опубл. 11.06.2018, Бюл. №12.

- Патент на корисну модель № 126277 Україна. Спосіб зміцнення заготовок пластичним деформуванням/ Тітов В.А., Івахов А.А., Вишневський П.С., Тітов А.В., Кондратюк Е.В. (Україна) КПІ ім. Ігоря Сікорського. – № у 2018 12309 Опубл. 11.06.2018, Бюл. №12.
- Патент на корисну модель № 127817 Україна. Пристрій для визначення форми і розмірів заготовки для витяжки деталей різної форми/ Холявік О.В., Огрудков Я.А., Борис Р.С. (Україна) КПІ ім. Ігоря Сікорського. – № у 201801810 Опубл. 27.08.2018, Бюл. №16.
- Патент на корисну модель № 126192 Україна. Спосіб зміцнення заготовок пластичним деформуванням/ Тітов В.А., Корева В.О., Богуславський А.Р., Кондратюк Е.В., Тітов А.В. (Україна) КПІ ім. Ігоря Сікорського. – № у 201713020 Опубл. 11.06.2018, Бюл. №11.
- Патент на корисну модель № 113701 Україна. Спосіб обробки заготовок із мало пластичних матеріалів, що важко деформуються, наприклад алюмініду титану/ Пахолко С.М., Гараненко Т.Р. (Україна) – № у 201608307 Опубл. 10.02.2017, Бюл. №3.
- Патент на корисну модель № 129645 Україна. Штамп для виготовлення біметалевих виробів / Тітов В.А., Борис Р.С., Холявік О.В., Дудка С.Ю., Дубиніна Н.М. (Україна) КПІ ім. Ігоря Сікорського. – № у 201804010 Опубл. 12.11.2018, Бюл. №21.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Науково технічний рівень виконаної роботи світовому рівню. У закордонних дослідженнях отримання композиційних матеріалів за рахунок інтенсивного подрібнення порошкових матеріалів та гарячого пресування в температурному діапазоні 700-1200 0С не досліджується. Не досліджується формування деталей складної геометрії, як наприклад моноколів та порожнистих лопаток, що виконано в даній роботі. При складній геометрії параметри пластичної течії матеріалу залежать від багатьох факторів, як наприклад від температури, швидкості деформування, геометрії заготовки, тощо. В закордонних та вітчизняних роботах це не досліджується. В закордонних працях не проводяться дослідження на титанових сплавах, порошкових та евтектичнозміцнених матеріалах, що широко використовуються в виробі авіабудування. В даній роботі отримано результати залежності параметрів пластичної течії матеріалу від таких факторів як температура, швидкість деформування, геометрії заготовки, тощо. В даній роботі розроблені математичні моделі деформування евтектичнозміцнених та порошкових матеріалів, які за рахунок багатофазності відрізняються від гомогенних. В роботі розроблені технологічні рекомендації по проектуванню процесів формоутворення точних заготовок лопаток компресора ГТД з титанових евтектичнозміцнених сплавів; моноколів з алюмінієвих сплавів, відпрацьований процес формоутворення в умовах над пластичності порожнистих лопаток, обґунтована ефективність використання металомісткого змашування.

Розробка нових методів проектування процесів формоутворення конструкцій машинобудування при в'язкопластичному деформуванні гомогенних, евтектичнозміцнених та порошкових матеріалів, а також забезпеченням поліпшених механічних властивостей за рахунок модифікації структури матеріалу не мають аналогів у світовій практиці.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Застосування технології виготовлення точних заготовок моноколів дозволить забезпечити зниження трудомісткості процесу їх виготовлення на 60-80%, матеріалоемність на 50-60% та підвищення їх якості. Подальше підвищення ефективності впровадження технології пов'язане з розширенням номенклатури деталей та розвитком технології виготовлення моноколів з титанових сплавів. Планується розроблені методики та комп'ютерні програми використовувати при проектуванні технологічних процесів.

Застосування розроблених технологій та обладнання дозволяє значно знизити собівартість та підвищити якість виробів:

- підвищити продуктивність виготовлення на 40-60 %,
- зниження енергосилових параметрів деформування в 1,5-2,5 рази,
- зменшення величин питомих зусиль на деформуючому інструменті в 1,3-2 рази,
- підвищення коефіцієнту використання матеріалу на 35%;
- зменшення норм втрати часу у 2 рази;

- скорочення витрат на оплату праці у 1,5 рази.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Створені методи проектування процесів формоутворення конструкцій машинобудування при в'язкопластичному деформуванні гомогенних, евтектичнозміцнених та порошкових матеріалів можуть застосовуватись на підприємствах і в організаціях різних галузей промисловості: машинобудуванні, металургійному і гірничому комплексах, авіа і суднобудуванні, теплоенергетиці та підприємствах авіакосмічного комплексу України, де широко розповсюджені конструкції машинобудування створені при в'язкопластичному деформуванні гомогенних, евтектичнозміцнених та порошкових матеріалів і гостро стоїть проблема підвищення ефективності їх виробництва.

8. Стан готовності розробки.

Розроблені методи проектування процесів формоутворення конструкцій машинобудування при в'язкопластичному деформуванні гомогенних, евтектичнозміцнених та порошкових матеріалів, відпрацьовані відповідні технології і розроблені технологічні рекомендації щодо ефективного проектування процесів формоутворення конструкцій машинобудування при в'язкопластичному деформуванні гомогенних, евтектичнозміцнених та порошкових матеріалів. Можлива розробка дослідно-промислових зразків нового устаткування, що може бути впроваджено у промислове виробництво.

9. Існуючі результати впровадження.

Розроблені методи проектування процесів формоутворення конструкцій машинобудування при в'язкопластичному деформуванні гомогенних, евтектичнозміцнених та порошкових матеріалів впроваджено на ЗМКБ „Прогрес” ім. ак. Івченко О.Г. та АТ „Мотор Січ” (м. Запоріжжя).

10. Назва організації, телефон, E-mail

КПІ ім. Ігоря Сікорського, механіко-машинобудівний інститут, кафедра механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів, (044) 204-80-33, vat.kpi@gmail.com

11. Фото розробки



Установка для гарячого пресування У6558-4090

Панель, що виготовлена в умовах надпластичності



12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Маковей В. Повышение стойкости штамповой оснастки / В. Маковей, Ю. Бородий, В. Титов / Изд. LAP LAMBERT Academic Publishing, Republic of Moldova, 2017. – 236с.
2. Панарін В.Є. Створення та впровадження нового класу евтектичних композиційних матеріалів в інноваційні технології підприємств машинобудування / В.Є. Панарін, М.В. Кіндрачук, П.І. Лобода, В.А. Тітов та інші. – Запоріжжя, вид. АТ «Мотор Січ», 2016 . - 264 с. : іл.
3. Тітов В.А. Технологічна механіка забезпечення міцності та якості деталей пластичним деформуванням: монографія / В.А. Тітов, Н.К. Злочевська, О.Я. Качан, А.В. Тітов, Е.В. Кондратюк. – К.: КВІЦ, 2016. – 176с.: іл.
4. Теорія та практика обробки металів тиском / Під ред. Богуслаєва В.О., Бобиря М.І., Тітова В.А., Качана О.Я. – Запоріжжя, вид., АТ «Мотор Січ», 2016, 522 с.
5. УкрНИИАТ в периодических научно-технических изданиях (1999-2016): сб. научных трудов / Кривов Г.А., В.А. Тітов, – К.:КВІЦ, 2017. – 1160с.:638 илл., 222 табл.
6. 1. Steblyuk V., Orlyuk M., Holyavik O., Soprunenko V. Technologies and modulated equipment used for obtaining composite materials / Innovations in engineering. Varna, Bulgaria. – 2017. P. 233-236 <http://www.innova-eng.eu/proceedings/2017/57.TECHNOLOGIES%20AND%20MODULATED%20EQUIPMENT%20USED%20FOR%20OBTAINING%20COMPOSITE%20MATERIALS.pdf>
7. Борис Р.С. Розрахунок напружено-деформованого стану при витягуванні з потоншенням двохшарового металу / Р.С. Борис, О.В. Холявік, П.С. Вишневський / Open Access Peer-reviewed Journal Science Review, Warsaw, Poland. 7(7), 2017. Vol.1. – P. 40-47. <http://archive.ws-conference.com/wp-content/uploads/pw0488.pdf>
8. Ю.Є. Шамарін, Виготовлення деталей за допомогою методів високошвидкісного штампування / Шамарін Ю.Є., Холявік О.В., Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Кременчук: КрНУ, 2016. - Випуск 2(18). - 134с.
9. Тітов В.А. Особенности технической подготовки процесса изотермической штамповки моноколес / Тітов В.А., Тітов А.В., Гараненко Т.Р., Лысенко О.Н., Мозговой В.Ф., Басов А.Ю. // Вестник НТУУ "КПИ" Машиностроение. - 2016. - №3 (78). - с. 146-152
10. Тітов В.А. Формоутворення тонкостінних елементів монолітних коліс ГТД / В.А.Тітов, В.Ф.Мозговий, О.Ю. Басов, К.Б. Балушок, А.В. Тітов, О.М. Лисенко, А.Д.Лаврінков, Т.Р.Гараненко// Теорія та практика обробки металів тиском. Монографія / Під ред. Богуслаєва В.О., Бобиря М.І., Тітова В.А., Качана О.Я. – Запоріжжя, вид., АТ «Мотор Січ», 2016 – С. 490-520.
11. Тітов В.А., Качан О.Я., Кондратюк Е.В., Злочевська Н.К., Гараненко Т.Р., Уланов С.О., Вишневський П.С. Формування механічних властивостей деталей двостадійним пресуванням з гомогенних та структурно-неоднорідних матеріалів / В.А. Тітов, О.Я. Качан, Е.В. Кондратюк, Н.К. Злочевська, Т.Р. Гараненко, С.О. Уланов, П.С. Вишневський // Теорія та практика обробки металів тиском. Монографія / Під ред. Богуслаєва В.О., Бобиря М.І., Тітова В.А., Качана О.Я. – Запоріжжя, вид., АТ «Мотор Січ», 2016 – С. 100-153.

12. Лупкін Б.В. Деякі особливості забезпечення параметрів якості монолітних панелей ЛА, при пластичному формоутворенні / Б. В. Лупкін, М.С. Подгребельний, Р.С. Борис // Теорія та практика обробки металів тиском. Монографія / Під ред. Богуслаєва В.О., Бобиря М.І., Тітова В.А., Качана О.Я. – Запоріжжя, вид., АТ «Мотор Січ», 2016 – С. 154-181.
13. Титов В.А. Особенности построения вязкопластических моделей металлов при испытаниях на изгиб. Сообщение 2 // В.А. Титов, Т.Р. Гараненко // Обработка материалов давлением. – №1 (42). – 2016. – С. 45-52. [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/omd/omd_1\(42\)_2016/article/06.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/omd/omd_1(42)_2016/article/06.pdf)
14. Пригунова А.Г. Влияние комплексных воздействий на формирование структуры и тиксотропных свойств литых высокопрочных алюминиевых сплавов В95 и Д16 А.Г. Плигунова, В.П. Головаченко, В.А. Титов и др. // «Процессы литья» № 3, 2018 - С.14-22
15. Andrii V. Titov, Andrii V. Titov, Volodymyr M. Mykhalevych, Volodymyr M. Mykhalevych, Peter Popiel, Peter Popiel, Kanat Mussabekov, Kanat Mussabekov, "Statement and solution of new problems of deformability theory", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 108085E (1 October 2018); doi: 10.1117/12.2501635; <https://doi.org/10.1117/12.2501635>
16. Тітов В.А., Борис Р.С. / В.А. Тітов, Р.С. Борис/ Витягування з потоншенням біметалевих трубчастих елементів з різнорідних металів і сплавів // Теорія та практика обробки металів тиском. Монографія / Під ред. Богуслаєва В.О., Бобиря М.І., Тітова В.А., Качана О.Я. – Запоріжжя, вид., АТ «Мотор Січ», 2016 – С. 297-335.
17. Шамарін Ю.Є., Тітов В.А., Холявік О.В., Борис Р.С. / Ю.Є. Шамарін, В.А. Тітов, О.В. Холявік, Р.С. Борис / Високошвидкісні методи обробки металів тиском // Теорія та практика обробки металів тиском. Монографія / Під ред. Богуслаєва В.О., Бобиря М.І., Тітова В.А., Качана О.Я. – Запоріжжя, вид., АТ «Мотор Січ», 2016 – С. 448-489.
18. Борис Р.С. Теоретичний розрахунок умов заповнення рельєфу при з'єднанні різнорідних металів витягуванням з потоншенням / Р.С. Борис, В.А. Тітов, О.В. Холявік – Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(18), Issue: 158, Budapest 2018. P. 34-37
19. Борис Р.С. Особливості врахування тертя при витягуванні з потоншенням двошарових заготовок / Р.С. Борис, О.В. Холявік, П.С. Вишневський – World science, Warsaw, Poland, № 2(30) Vol.1, 2018. P. 46-53
20. Титов В. А. Особенности расчета параметров процесса резки тонкостенных труб на детали и полуфабрикаты / В.А. Титов, Д.М. Савченко, А.И. Петришин, О.В. Холявик, Р.С. Борис – World science, Warsaw, Poland, № 3(31) Vol.1, 2018.
21. Титов А.В. Некоторые особенности изотермической штамповки точных деталей с тонкостенными элементами / А.В. Титов, А.Ю. Басов, А.Д. Лавриненков и др. // Обработка материалов давлением. - №1(46). - 2018. - С. 105-115.
22. Численное исследование широкохордных полых рабочих лопаток вентилятора. / Гараненко Т.Р. // Вестник двигателестроения. – 2016. - №1.
23. Титов В.А. Некоторые закономерности изотермического вязкопластического формообразования мембраны из алюминиевых сплавов / В.А. Титов, А.С. Рехта, Т.Р. Гараненко / Обработка материалов давлением. – 2017. - №2 (45). – С. 30-35.
24. Титов В.А. Закономірності формування механічних та структурних властивостей гомогенних та структурно-неоднорідних матеріалів в умовах великих пластичних деформацій зсуву / В.А. Тітов, Н.К. Злочевська// Вісник НТУ «ХП». - 2015. - № 24 - С. 145-153.
25. Злочевська Н.К. Формування механічних і структурних властивостей сплаву 1420 в умовах великих пластичних деформацій зсуву / Н.К. Злочевська, А.В. Тітов // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х.: НТУ «ХП», 2016. - №-С.

26. Формування поверхневого шару деталей вигладжуванням для підвищення їх ресурсу Титов В.А., Лавріненков А.Д., В.О Богуслаєв та ін. Теорія та практика обробки матеріалів тиском. – Запоріжжя, вид. АТ «Мотор Січ», 2016. – С. 61-99
 27. Повышение производительности ультразвуковых распылителей жидкости Лавріненков А.Д., Луговской А.Ф., Фесич В.П., Зилинский А.И. *Mechanics and Advanced Technologies* №2 (80). – 2017. – С. 113-122
 28. Некоторые особенности изотермической штамповки точных деталей с тонкостенными элементами А.В. Титов, А.Ю. Басов, А.Д. Лавріненков и др. *Обработка материалов давлением*. - №1(46). - 2018. - С. 105-115.
- 13. Надати ключові слова до розробки:** процеси формоутворення конструкцій, в'язкопластичне деформування, гомогенні матеріали, евтектичнозміцнені матеріали, порошкові матеріали, моноколесо, порожниста лопатка, ресурсозбереження, енергоефективні технології, механічні властивості, пластичне деформування, метод скінчених елементів, теорія пластичності, обробка металів тиском, напружено-деформований стан, машинобудування.